

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-031759

(43)Date of publication of application : 03.02.1998

(51)Int.Cl. G06T 17/20

(21)Application number : 08-205492

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 17.07.1996

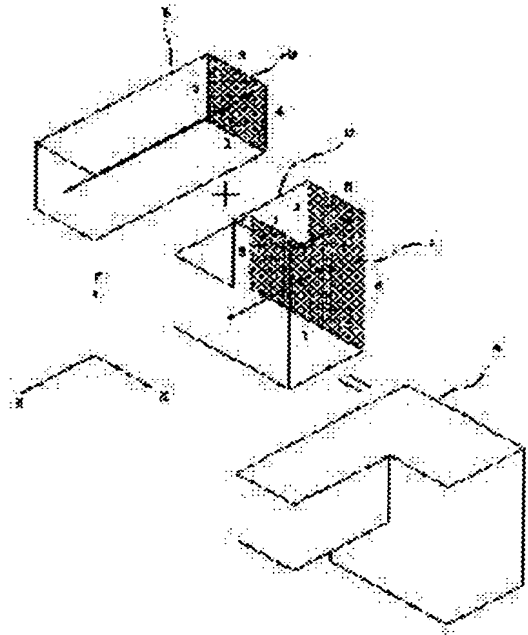
(72)Inventor : YOSHITAKA HIROYUKI

## (54) METHOD AND DEVICE FOR DIVIDING ELEMENTS OF THREE-DIMENSIONAL SHAPE

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To shorten operation time by efficiently executing operation for dividing the three-dimensional (3D) shape of an object into hexahedron elements.

SOLUTION: After inputting the 3D shape A of an object as a group of shape data combining face elements (b, c) divided into plural areas in transparently observing them from a prescribed direction and their height data, prescribed nodes are formed on the boundary/outline of each area and each area or an area in the outline is divided into rectangular elements. The rectangular elements are grouped in each height data, the same attribute is provided to rectangular elements in the same group, the rectangular elements are extended by a prescribed length along the height direction in accordance with the attribute of the elements and the extended elements are divided by a prescribed division number in the height direction to prepare hexahedron elements. Finally the hexahedron element groups belonging to respective areas are released and collected to one hexahedron element group to complete a 3D finite element method(FEM) model.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 10 - 3 1 7 5 9

(43) 公開日 平成10年(1998)2月3日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>

G 0 6 T 17/20

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 6 F 15/60 6 1 2 J

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 4

F D

(全 1 1 頁)

(21) 出願番号 特願平8-205492

(22) 出願日 平成8年(1996)7月17日

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 良尊 弘幸

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(74) 代理人 弁理士 小松 祐治

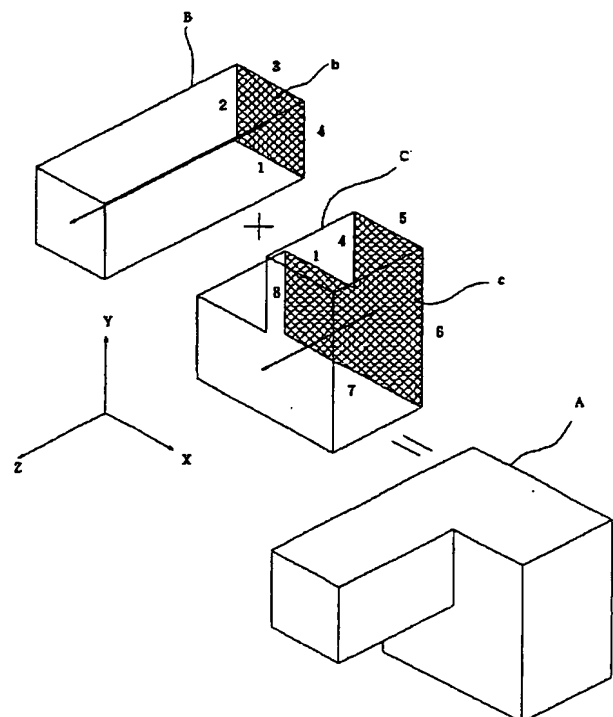
(54) 【発明の名称】 3次元形状の要素分割方法及び装置

(57) 【要約】

【課題】 対象物の3次元形状を6面体要素に分割する作業を効率的に行い、作業時間を短縮する。

【解決手段】 先ず、対象物の3次元形状Aを、所定方向から透視的に見て複数の領域に区分される面要素

(b、c) とその高さのデータとを一組みとする形状データの一群として入力した後、各領域の境界線及び／又は外形線に所定数の節点を設け、当該節点を通る平行線群によって各領域又は外形線内の領域を4角形要素に分割する。そして、4角形要素に対して高さデータ毎にグループ分けを行い、同一グループ内の4角形要素に対して同一の属性を付与した後、各4角形要素の属性に従って4角形要素をその高さ方向に沿って所定量をもって引き伸ばすとともに、これを所定の分割数をもって高さ方向において分割することにより6面体要素を作成する。最後に、各領域に属する6面体要素群のグループ分けを解除して一つの6面体要素群にまとめ上げて3次元FEM(有限要素法)モデルを完成させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 対象物の3次元形状を多数の6面体要素に自動分割することによって有限要素法の解析に供する形状モデルを作成する3次元形状の要素分割方法において、

(イ) 3次元形状を、所定方向から透視的に見て複数の領域に区分される面要素とその高さのデータとを一組みとする形状データの一群として入力した後、

(ロ) (イ)の複数の領域の境界線及び／又は外形線に所定数の節点を設け、当該節点を通る平行線群によって各領域又は外形線内の領域を多数の4角形要素に分割し、

(ハ) 4角形要素に対してその高さデータ毎にグループ分けを行い、同一グループ内の4角形要素に対して同一の属性を付与し、

(ニ) 各4角形要素の属性に従って4角形要素をその高さ方向に沿って所定量をもって各別に引き伸ばすとともに、これを所定の分割数をもって高さ方向において分割することにより6面体要素を作成し、

(ホ) 各領域に属する4角形要素群及びこれに対応する6面体要素群についてのグループ分けを解除して一つの6面体要素群にまとめ上げて形状モデルを完成させるようにしたことを特徴とする3次元形状の要素分割方法。

【請求項2】 請求項1に記載の3次元形状の要素分割方法において、

(ロ) で外形線内の領域を同形の正方形要素によって等分割するとともに、(ニ) では正方形要素をその一辺に等しい高さをもって引き伸ばした立方体要素として6面体要素を形成したことを特徴とする3次元形状の要素分割方法。

【請求項3】 対象物の3次元形状を多数の6面体要素に自動分割することによって有限要素法の解析に供する形状モデルを作成する3次元形状の要素分割装置において、

対象物の3次元形状を、所定方向から透視的に見て複数の領域に区分される面要素とその高さのデータとを一組みとする形状データの一群として入力して設定する入力／設定手段と、3次元形状の6面体要素への自動分割処理を行う計算手段と、自動分割の結果を出力する出力手段とを備えており、

計算手段が、上記面要素の境界線及び／又は外形線に所定数の節点を設け、当該節点を通る平行線群によって面要素又は外形線内の領域を多数の4角形要素に分割する平面要素分解手段と、

4角形要素に対してその高さデータ毎にグループ分けを行い、同一グループ内の4角形要素に対して同一の属性を付与するグループ化手段と、

各4角形要素の属性に従って4角形要素をその高さ方向に沿って所定量をもって各別に引き伸ばすとともに、こ

れを所定の分割数をもって高さ方向において分割することにより6面体要素を作成する要素変換／分割手段と、面要素に係る各領域に属する4角形要素群及びこれに対応する6面体要素群についてのグループ分けを解除して一つの6面体要素群にまとめ上げて完成した形状モデルを出力手段に送出するグループ化解除手段とを有することを特徴とする3次元形状の要素分割装置。

【請求項4】 請求項3に記載の3次元形状の要素分割装置において、

10 平面要素分解手段が対象物の外形線内の領域を正方形要素によって等分割するとともに、要素変換／分割手段が、正方形要素とその一辺の長さに等しい高さを有する立方体要素により対象物の3次元形状を自動分割することを特徴とする3次元形状の要素分割装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、対象物の3次元形状を多数の6面体要素に効率良く分割することができるようにした3次元形状の要素分割方法及び装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 FEM（有限要素法）では、解析に先だって計算の対象物を複数の立体要素に分割する作業が必要であり、コンピューターを使ったシステム（CAD（Computer Aided Design）／CAE（Computer Aided Engineering）等）では、この作業をプリプロセッサ等により自動的に行うことで作業効率の向上を図っている。

【0003】 例えば、3次元形状を4面体要素に自動分割するためのアルゴリズムが知られており、一般には写像法が用いられている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、上記した4面体要素による分割方法には、下記に示すような問題がある。

【0005】 1) 要素数が多い

つまり、3次元形状の4面体要素による分割数は、6面体要素による分割数に比べて多い（例えば、1辺の長さが1の立方体は、同形の4面体（1辺の長さが1で高さが1の三角錐）の6個分で構成される。）ため、モデル解析時における計算時間が長くなってしまう。

【0006】 2) 要素の変形が大きい場合がある

即ち、3次元形状がある程度複雑なものになると、要素分割を行おうとしたときの4面体要素の変形（歪み）が大きすぎるため分割不能になったり、また、分割が可能であっても要素の形状変形が著しいために、解析を行うことができないか又は解析結果に大きな誤差が生じてしまうといった不都合が起きることになる。

【0007】 そこで、6面体要素と4面体要素とを併用した分割方法が考えられるが、分割の仕方が複雑化した

り、あるいは上記1)の問題についての根本的な解決法とはならないため、6面体要素を用いた要素形状に歪みの少ない分割法が求められている。

【0008】しかしながら、従来の方法では、6面体要素への分割作業や座標入力等を手操作入力で行うのに近い状況であるため、作業に長い時間が費やされ、作業効率の低さが問題となっている。

【0009】本発明は、3次元形状の6面体要素への要素分割作業を効率的に行い、作業時間を短縮することを課題とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は上記した課題を解決するために、まず、3次元形状を所定方向から透視的に見て複数の領域に区分される面要素とその高さのデータとを一組みとする形状データの一群として入力した後、複数の領域の境界線及び／又は対象物の外形線に所定数の節点を設け、当該節点を通る平行線群によって各領域又は外形線内の領域を4角形要素に分割し、4角形要素に対してその高さデータ毎にグループ分けを行い、同一グループ内の4角形要素に対して同一の属性を付与して、各4角形要素の属性に従って4角形要素をその高さ方向に沿って所定量をもって引き伸ばすとともに、これを所定の分割数をもって高さ方向において分割することにより6面体要素を作成した後、各領域に属する6面体要素群のグループ分けを解除して一つの6面体要素群にまとめ上げて形状モデルを完成させるようにしたものである。

【0011】従って、本発明によれば、面要素を多数の4角形要素に分割するとともに、これを所定方向に引き伸ばす操作によって6面体要素を生成することで、対象物の3次元形状を6面体要素に分割することができる。

【0012】

【発明の実施の形態】まず、本発明に係る要素分割法についてその手順を説明する。

【0013】(イ) 3次元形状を、所定方向から透視的に見て複数の領域に区分される面要素とその高さのデータとを一組みとする形状データの一群として入力する過程

3次元形状は、一般に複数の基本立体の集合として把握することができ、例えば、図1に示す形状Aは、直方体形状の形状Bと、厚みのある鍵括弧状をしたブロック形状Cとを形状要素にもち、これらを組み合わせた形状として把握することができる。

【0014】そして、各形状要素は、有界の面要素(面を単位とする構成要素)を、所定の方向に移動させた軌

跡として表現することができる場合があり、例えば、図1の形状Bは、格子状のハッチング(図形分割とは何等の関係ないことに注意。)を付して示す正方形bを同図のZ方向(高さ方向を示す。)に所定の距離だけ引き伸ばす、あるいは正方形bをZ方向に所定の距離をもって投影することによって形成することができ、同様に図1の形状Cは、格子状のハッチングを付して示す平面的な鍵括弧状の図形cを同図のZ方向に所定の距離だけ引き伸ばすことによって形成することができる。尚、図1においてX、YはZ軸に対してそれぞれ直交する3次元直交座標軸を示している。

【0015】このようにして、3次元形状は一般には複数の3次元形状要素からなり、各要素が2次元的な面要素を所定の方向(高さ方向)に引き伸ばした形状を有していると考えられる場合が多い。

【0016】よって、ある3次元形状を所定方向(図1ではZ方向)から見た時に複数個に区分されて認識される領域の面要素(図1の例では正方形b、鍵括弧図形c)とその高さが明らかであって、これらの組みを必要十分条件として3次元形状を表すことができる場合には、面要素及び高さを一組みにした形状データ群で当該3次元形状を表現することは容易である。

【0017】例えば、そのような表現形式として下表1に示すようなデータ構造を用いることができる。

【0018】

【表1】

| 領域番号 | 面要素の<br>形状データ | 高さデータ |
|------|---------------|-------|
|------|---------------|-------|

【0019】尚、上表1において「領域番号」とは、所定方向から見た区分領域に対して各別に付与される識別番号であり、各領域に係る「面要素の形状データ」には、面要素を構成する線分群、曲線群や、領域の内部と外部とを区別するための不等式群等を含んでいる。また、「高さデータ」とは区分領域に係る面要素の投影方向における距離であり、一般には1個又は2個以上の高さを含む(その理由については後述する。)

【0020】表1のデータ構造についての具体例として、図1の形状Aをデータ化して示したものが下表2に示すデータテーブルである。

【0021】

【表2】

| 領域番号 | 線分群<br>(線分番号) | 不等式群   |
|------|---------------|--|
| 1    | 1             | $a_1 \cdot X + b_1 \cdot Y + c_1 > 0$<br>$(X1s < X < X1e, Y1s < Y < Y1e, Z1s < Z < Z1e)$   |
|      | 2             | $a_2 \cdot X + b_2 \cdot Y + c_2 > 0$<br>$(X2s < X < X2e, Y2s < Y < Y2e, Z2s < Z < Z2e)$   |
|      | 3             | $a_3 \cdot X + b_3 \cdot Y + c_3 > 0$<br>$(X3s < X < X3e, Y3s < Y < Y3e, Z3s < Z < Z3e)$   |
|      | 4             | $a_4 \cdot X + b_4 \cdot Y + c_4 > 0$<br>$(X4s < X < X4e, Y4s < Y < Y4e, Z4s < Z < Z4e)$   |
| 2    | 1、4<br>5～8    | $\alpha_i \cdot X + \beta_i \cdot Y + \gamma_i > 0$<br>$(XXis < X < XXie, YYis < Y < YYie, ZZis < Z < ZZie)$<br>但し、 $i = 1, 4, 5 \sim 8$ |

【0022】上表2では、面要素の形状データとして線分群と不等式群を含んでおり、図1の形状Bに係る正方形bに領域番号1が付与され、これは線分番号1乃至4を付すことによって識別される4つの線分を含み、その内部領域が4つの不等式群によって数学的に表現される。尚、不等式の左辺は各線分を示す直線の式であり、 $a_i$ 、 $b_i$ 、 $c_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) は線分番号*i*に対応する係数や定数を示し、 $X1s$ 、 $Y1s$ 、 $Z1s$  は線分番号*i*についてX、Y、Z方向における始点の位置座標値をそれぞれ示し、また、 $X1e$ 、 $Y1e$ 、 $Z1e$  は線分番号*i*についてX、Y、Z方向における終点の位置座標値をそれぞれ示している。同様に、図1の形状Cに係る鍵括弧状の図形cには領域番号2が付与され、これは線分番号1、4、5乃至8を付すことによって識別される6つの線分を含み、その内部領域が6つの不等式群によって数学的に表現される(表2では総括的に示す。)。尚、不等式の左辺は各線分を示す直線の式であり、 $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\gamma_i$  ( $i=1, 4, 5, 6, 7, 8$ ) は線分番号*i*に対応する係数や定数を示し、 $XXis$ 、 $YYis$ 、 $ZZis$  は線分番号*i*についてX、Y、Z方向における始点の位置座標値をそれぞれ示し、また、 $XXie$ 、 $YYie$ 、 $ZZie$  は線分番号*i*についてX、Y、Z方向における終点の位置座標値をそれぞれ示している。

【0023】尚、この例では領域の境界が線分であるため、不等式群が行列等で簡単に表現できる構成となっているが、一般には境界線は曲線であり、その形状が2次曲線等の典型的なものである場合には数式表現が可能であるが、解析的な数式表現が得られない自由曲線の場合には他の表現形式(パラメトリック表現等)が必要となる。

【0024】また、上記した領域番号と高さデータとの対応関係については、下表3のようなデータテーブルを例示することができる。

【0025】

【表3】

| 領域番号 | 高さデータ(1) | 高さデータ(2) |
|------|----------|----------|
| 3    | z1       | z2       |
| 4、5  | z1       | z3       |

【0026】尚、上表3は、領域番号3の領域が2つの高さデータz1、z2を有し、領域番号4、5の領域が2つの高さデータz1、z3を有する場合を例示するも

のである。上記のように、領域は3次元形状を所定方向から透視的にみた場合に現出されるものであるから、例えば、図2に示すように、領域Rは高さを異にする2つの面D1、D2の交わりとして現れることがある。即ち、領域Rは高さ $z_1$ の面D1と、高さ $z_2$ の面D2とがZ方向から見たときに重なり合うことによって生じている。よって、一般にこのような透視に伴って生じる領域が、2以上の高さデータを有することは容易に理解される。

【0027】以上のようにして、面要素とその高さとを組みにした数値データの集合により3次元形状を表現することができる。

【0028】(ロ) 領域の境界線及び／又は外形線に所定数の節点を設け、当該節点を通る平行線群によって各領域又は外形線内の領域を4角形要素に分割する過程  
この過程は3次元形状を所定方向から透視的に見たときに生じる上記領域又は外形線内の領域を多数の4角形要素に分割する過程であり、その際の分割法には下記に示す方法が挙げられる。

【0029】(I) 隣接する2領域の境界線上に共通の節点を設定して分割する方法

これは、境界線上に設定される節点の位置及び数を当該境界線の両側において隣接する領域について同一に設定して、当該節点を通る平行線群により各領域を分割（等分割とは限らない。）する方法である。

【0030】即ち、図3に示すように、4つ領域A1、A2、A3、A4が互いに直交する線分L、Mを境界線として区分されている場合に、例えば、線分Lのうち領域A1とA2との境界線となる線上に複数の節点P<sub>i</sub>（ $i=1, 2, \dots$ ）を設定し、これらの節点P<sub>i</sub>を通る平行線群によって領域A1、A2を分割し、同様に、線分Mのうち領域A1とA3との境界線となる線上に複数の節点Q<sub>i</sub>（ $i=1, 2, \dots$ ）を設定し、これらの節点Q<sub>i</sub>を通る平行線群によって領域A1、A3を分割するという操作を、全領域について行えば、各領域を多数の4角形要素（長方形とは限らないことに注意。）に分割することができる。

【0031】尚、この方法では節点の指定により分割を比較的簡単に行うことができるという利点を有する反面、分割後の4角形要素の形状や面積がまちまちとなる。

【0032】(II) 最外形線内の領域を正方形要素によって等分割する方法

これは領域毎の分割ではなく、領域の境界線には無関係に外形線の内部領域を全て正方形要素によって分割する方法であり、例えば、図4に示すように、外形線O1、O2、O3、O4によって囲まれる領域AOを、一辺の長さaの正方形によって分割する。尚、これは長方形を多数の同形の正方形により分割することが常に可能であることに基づいている。

【0033】この方法は、正方形での分割を正確にするために分割数ある程度多くする必要が生じるが、外形線内の領域で面要素が統一されているので、解析時における計算時間を短くすることができるという利点や、分割を領域毎に分けて行う必要がない等の利点がある。

【0034】(III) 各領域を正方形要素によって分割する方法

これは、領域毎に所定の大きさの正方形要素で分割を行う方法であり、この場合には、隣接する2領域の境界線に設定される節点の位置や数は2領域においてそれぞれ異なっている。

【0035】この方法では、各領域で面要素が統一されているので、所望の領域を指定して当該領域のみを解析する場合に要する計算時間を短くすることができるという利点がある。

【0036】以上の過程については2次元的なFEM要素の分割問題として自動化が容易である。尚、4角形要素の辺の長さについては、これをユーザーが任意に指定しても良いが、形状や大きさに応じて適当な要素数（例えば、数百程度）をもって領域を分割することができるように自動的に決定したり、あるいは対話形式でユーザーに助言等を与えるようにすることが望ましい。

【0037】(ハ) 4角形要素に対してその高さデータ毎にグループ分けを行い、同一グループ内の4角形要素に対して同一の属性を付与する過程

上記の4角形要素はいずれかの領域に属していることが明らかであり、当該領域に係る高さデータを有している。よって、同一の高さデータを有する4角形要素に対して同一の属性（色等）を付与することによってグループ分けを行う。

【0038】尚、上記(I)、(III)の方法では要素分割を領域毎に行っているために、4角形要素がどの領域に属しているかは容易に判断することができる。例えば、上記表3の第2行目では複数の領域が同一の高さデータを有しており、一のグループを形成しているので、当該グループに属する領域の4角形要素には同一の属性を割り当てることができる。

【0039】これに対して(II)の方法では、ある正方形要素を特定したときにこれがどの領域に属するを個々に判断する必要がある。例えば、正方形要素の代表点（中心点等）を含む領域を当該正方形要素が属する領域とするという規則を採用し、代表点が領域の境界線上に位置する場合には、境界線に隣接する2領域のうち付与された領域番号の小さい方を選択する等の規則を与えれば良い。そして、領域に対する4角形要素の所属状態が全て決定された後は、高さデータを同じくする4角形要素に対して同一の属性（色等）を割り当てる。

【0040】(ニ) 各4角形要素に対して付与された属性に従って4角形要素を高さ方向に沿って引き伸ばすとともに、これを所定の分割数をもって高さ方向において

分割することにより6面体要素を作成する過程

各4角形要素に対して付与された属性は高さデータが共通であることを示すものである。従って、4角形要素から6面体要素を作成するには上記(イ)で説明したように、4角形要素を高さ方向に沿って所定量(つまり、高さ分)だけ引き伸ばすとともに、これを高さ方向において所定の分割数で分割すれば良いので、自動化が容易である。

【0041】そのためには、例えば、4角形要素に関して、それらの高さデータを小さいものから順番に並び換えた後、高さ方向の分割数が、上記(ロ)における領域の分割数と同程度となるようにし、6面体要素の各辺の\*

\*長さがまちまちにならないようにすることが好ましい。

【0042】図5は4角形要素から6面体要素への変換処理について示すものであり、節点の識別番号である節点番号1乃至4が付与された4頂点を有する4角形要素Sが、Z方向の高さデータに基づいて所定量だけ引き伸ばされることによって、節点番号5乃至8が付与された4頂点をさらに追加した6面体要素Hに変換される。

【0043】尚、その際の形状データの変換は、下表4に示すようにして行われる。

【0044】

【表4】

| 4角形要素番号 | 節点番号    |
|---------|---------|
| 1       | 1、2、3、4 |



要素変換 (4角形→6面体)

| 6面体要素番号 | 節点番号            |
|---------|-----------------|
| 1       | 1、2、3、4、5、6、7、8 |

【0045】しかして、この操作を全ての4角形要素に関して行うことにより、3次元形状を6面体要素で埋めつくすことができる。

【0046】尚、上記(I)、(III)の方法に比べて、(II)の方法は4角形要素の数が多くなるため、高さ方向における分割数もそれに併せて多くすることが好ましい(但し、分割数が必要以上に多いために解析計算時間が長くなり過ぎないように上限等を設ける必要がある。)

【0047】また、(II)、(III)の方法では4角形要素が正形状をしているので、その高さを正方形の一辺の長さに等しくなるように高さ方向の分割数を設定すると6面体要素が立方体となり、解析時における計算時間を短縮することができる。

【0048】(ホ)各領域に属する4角形要素群及びこれに対応する6面体要素群についてのグループ分けを解除して一つの6面体要素群にまとめ上げる過程

最後に、所定方向から透視的に見て複数の区分けられた領域によって類別されていた6面体要素群を一つのFEM要素群とする。つまり、6面体要素群について、互いに極く近接して位置する2節点を同一の節点に変更す

る。

【0049】尚、2面図(正面図、側面図)で表現することができない3次元形状の構成部分(例えば、切欠部等)についてはその補正を行う必要がある。

【0050】次に、本発明に係る装置を図6に従って説明する。

【0051】3次元形状の要素分割装置1は、そのハードウェア構成として入力/設定手段1a、計算手段1b、出力手段1cを有しており、これらはコンピュータシステムを用いて容易に実現することができる。

【0052】a)入力/設定手段

対象となる3次元形状を入力したり、自動分割にあたっての設定(分割数の指定等)を行うために必要な手段であり、キー入力手段、入力用タブレット、イメージスキャナー、ポインティングデバイス等の一切を含む。

【0053】尚、対象物の3次元形状の入力にあたっては、上記したように、所定方向から透視的に見て複数の領域に区分される面要素とその高さのデータとを一組みとする形状データの一組として入力する作業が必要であり、これを手作業で行うこともできるが、図示するように、次元分解手段2、領域分け手段3を設けることによ

り自動化することが好ましい。

【0054】即ち、次元分解手段2は、3面図（正面図と2つの側面図）等を用いた図形入力によって得られる対象物の3次元形状を複数の構成部分に分解するとともに、それらの3次元形状を所定方向から見た場合に現れる2次元形状（面要素）と1次元データ（高さ）に分解することによって3次元形状データを生成するものである。

【0055】また、領域分け手段3は、3次元形状を所定方向から透視的に見た場合に現出する境界線や外形線によって外形線内の領域を複数の領域に区分する処理を担当する。

【0056】b) 計算手段

自動分割処理の中核的な処理を担うものであり、図示するように、平面要素分解手段4、グループ化手段5、要素変換／分割手段6、グループ化解除手段7を有する。

【0057】平面要素分割手段4は、上記領域分け手段3によって区分された各領域を多数の4角形要素に分割するものであり、その方法は上記（ロ）で説明した通りである。

【0058】グループ化手段5は、上記（ハ）で説明したように4角形要素に対してその高さデータ毎にグループ分けを行い、同一グループ内の4角形要素に対して同一色等の属性を付与するものである。

【0059】要素変換／分割手段6は、個々の4角形要素にそれぞれの高さを与えて6面体要素に変換するとともに、高さ方向における分割処理を行うものである（上記（二）参照。）。

【0060】グループ化解除手段7は、領域毎に類別された6面体要素群をひとまとまりの3次元FEM要素群に変換するものである（上記（ホ）参照。）。

【0061】c) 出力（表示や印刷、ファイル化等を含む。）手段

中間結果の画像表示等を行ったり、6面体要素への自動分割の結果を図示しない外部のモデル解析手段又は同一の計算手段内に用意されているモデル解析手段に出力するものである。

【0062】しかして、本発明によれば、6面体要素による3次元形状の分割を行うことができるので、4面体要素での分割に比して要素数を低減することができ、また、要素の形状歪みが少なく解析時の誤差を少なくすることができる。そして、6面体要素の作成に際しては、所定方向から対象物の形状を見たときの透視図に基づいて当該透視図の外形線内の領域を複数の領域に区分してから各領域又は外形線の内部領域について4角形要素での分割を行った後、各4角形要素をその高さ方向にそれぞれ引き伸ばすとともにこの方向の分割を行って6面体要素を作成するというアルゴリズムを用いているので自動化に適しており、処理時間を大幅に短縮することができる。

【0063】また、上記（II）の方法によると、正方形要素の作成にあたって複数の領域の形状に依存することがなく各種の形状に対応した分割が可能であるとともに、立方体要素による3次元形状の分割が可能であり、要素数が非常に多くなっているにもかかわらず（数万要素程度）、その後の解析時間がそれほどかからず（数時間乃至数十時間程度）、また非常に正確な解析結果を得ることができるという利点がある。

【0064】

10 【実施例】以下に、本発明を用いて6面体要素分割によりFEMモデルを作成する場合の手順を、図7乃至図11に示す具体例を挙げて説明する。

【0065】図7は対象物の3面図（正面図、左側面図、右側面図）と、斜視図とを併せて示すものであり、対象物8は4つの脚部9、9、・・・を有する台座部10に直方体11を結合し、該直方体11に対してこれより一回り小さい直方体12を結合した形状を有している。尚、対象物8の斜視図において該対象物8を矢印Fに示す方向から見た図を正面図に選んでいる。

20 【0066】上記（イ）の過程では、対象物8の構成部9乃至12をそれぞれ面要素と高さデータとに分解して把握することが要点である。例えば、台座部10と直方体11との結合面を含む平面を基準面を選び、当該基準面に直交する軸をZ軸（直方体11、12側を正方向とする。）とした場合に、台座部10や、脚部9、9、・・・は、それぞれのZ軸方向における断面形状である長方形をZの負方向にそれぞれ所定の距離をもって引き伸ばしたものと認識される。同様に、直方体11や12は、それぞれのZ軸方向における断面形状である長方形をZ軸の正方向にそれぞれ所定の距離をもって引き伸ばしたものと認識される。

【0067】図8は対象物8をZ軸の正方向から負方向に向かって透視した場合の透視図Dfにおいて複数の領域が形成される様子を示すものである。

30 【0068】左側面図では、長方形をした外形線内の領域がロ字状をした2つの領域13、14（13が外側に位置し、14が内側に位置している。）と中央部に位置する長方形の領域15とに区分され、また、右側面図では長方形をした外形線内の領域が十字状をした領域16と4隅に各別に位置する長方形の4領域17、17、・・・とに区分される（図では、各領域を異なるハッチングを付して区別している。）。よって、これらをZ方向に沿って透視した場合には、下段の図に示すように、左側面図及び右側面図における各領域の境界線を合成したものが境界線として現れることになる。つまり、これら境界線によって新たな領域が生じ、例えば、領域18、18、・・・は、領域17、17、・・・のそれぞれの境界線と領域14の境界線とによって囲まれた領域であり、また、領域19は領域16の境界線と領域14の境界線とによって囲まれた領域である。



【0069】このようにして3次元形状についてZ軸方向における透視図を作成して、外形枠内の領域を複数の領域に区分けすることができる。

【0070】よって、これらに領域番号を付与して、上記した表2、表3のようなデータ構造を用いて各領域を表現することは容易である（その詳細は省略する。）。

【0071】次に来る過程は上記（ロ）である。

【0072】図9は図8の透視図Dfにおける各領域を多数の4角形要素20、20、・・・に自動分割した例を示すものであり、上記（I）の方法を用いている。

【0073】よって、同図において節点は太線で示す領域の境界線上に設定され、かつ境界線において隣接する2領域について節点が共通である。

【0074】尚、上記（II）の方法を用いる場合には、図9の4角形要素の形状が全て正方形であって、かつその数はさらに多くなる。

【0075】続く過程（ハ）では4角形要素の色分け操作を行えば良いので、その図示は省略して過程（ニ）に進む。

【0076】先ず、4角形要素の高さデータの小さいもの（又は大きいもの）から順番に並べ換える。例えば、高さデータが「0、20、-10、-20、-40」であるとすると、「-40、-20、-10、0、20」とし、次に高さ方向の分割単位を4角形要素の一辺の長さ程度（例えば、5とする。）として行うことにより、「-40、-35、-30、-25、-20、-15、-10、-5、0、5、10、15、20」という具合に高さデータ列を得る。

【0077】そして、図10に示すように、4角形要素20、20、・・・について高さ方向への伸張操作をそれぞれ行くとともに、上記した高さデータ列に従って高さ方向における分割を行うことによって、多数の6面体要素21、21、・・・を生成し、この操作を全ての4角形要素に対して行うことによって3次元形状の内部を微小な6面体要素によって埋めつくす。

【0078】最後に、過程（ホ）を経ることによって図11に示すような3次元FEM要素群22が作成される。

【0079】しかして、この方法によれば、3次元FEM要素群の完成までにこれまで1週間程かかっていた作業時間を数十分程度に短縮することができ、これによって作業効率が大幅に改善される。

【0080】

【発明の効果】以上に記載したところから明らかなように、請求項1や請求項3に係る発明によれば、3次元形状を、所定方向から透視的に見て複数の領域に区分される面要素とその高さのデータとを一組みとする形状データの一群として入力した後、面要素又は対象物を所定方向から見た外形線の内部領域を多数の4角形要素に分割するとともに、これを所定方向に引き伸ばす操作によつ

て6面体要素を生成することで、3次元形状の6面体要素への分割を行うことができるので、要素分割後における要素形状の歪みが少なく、また、4角形要素から6面体要素への引き伸ばし操作が自動化に適しているため、3次元形状の6面体要素への要素分割作業を効率的に行うことができ、作業時間を短縮することができる。

【0081】また、請求項2や請求項4に係る発明によれば、面要素の正方形要素への分割を面要素の境界線には無関係に行うことができ、また、対象物の3次元形状を立方体状をした6面体要素によって細かく分割することにより、解析結果の精度を向上させることができる。つまり、立方体要素への分割の場合には、辺の長さを短くすることにより精度の向上を得ることができることは勿論、各辺の長さが全て等しいため、有限要素法の解析を行う際に形成される剛性マトリックスの各要素が等しい値となり、当該マトリックスを0又は1の要素に正規化することが可能となるので、数十万とかの膨大な要素数でもって3次元FEM要素群を作成したとしても、それほど多くの時間をかけることなく解析を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】複数の立体形状を組み合わせて構成される対象物の3次元形状と、各構成要素における面要素の引き伸ばし操作について説明するための図である。

【図2】領域（R）と、これに対応する2つの高さデータ（ $z_1$ 、 $z_2$ ）を示す図である。

【図3】領域の境界線上に節点を設定して平行線群により各領域を4角形要素に分割する方法について説明するための図である。

【図4】領域を多数の正方形要素に分割する方法について説明するための図である。

【図5】4角形要素から6面体要素を生成する方法を示す図である。

【図6】本発明に係る装置の構成を示すブロック図である。

【図7】図8乃至図11とともに、本発明に係る6面体要素分割についての実施の一例を示すものであり、本図は3面図と斜視図とにより対象物の形状を示す図である。

【図8】2つの側面図を合成して透視図を得る様子を示す説明図である。

【図9】透視図における構成領域の4角形要素への分割について示す図である。

【図10】4角形要素から6面体要素を生成するとともに、高さ方向における要素分割について示す図である。

【図11】6面体要素分割後のFEM要素群の一例を示す斜視図である。

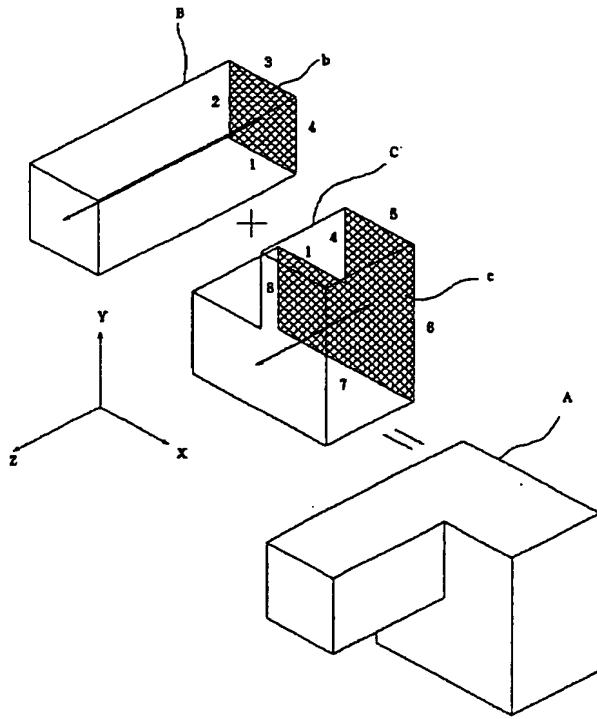
【符号の説明】

1…3次元形状の要素分割装置、1a…入力/設定手段、1b…計算手段、1c…出力手段、4…平面要素分

15

解手段、5…グループ化手段、6…要素変換／分割手

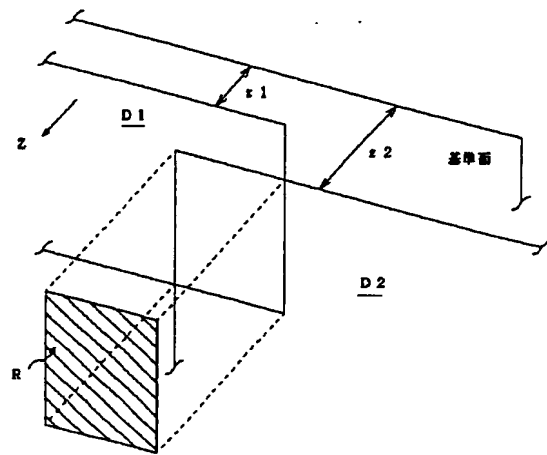
【図 1】



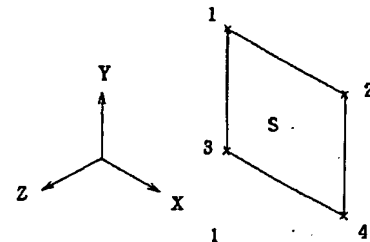
16

段、7…グループ化解除手段

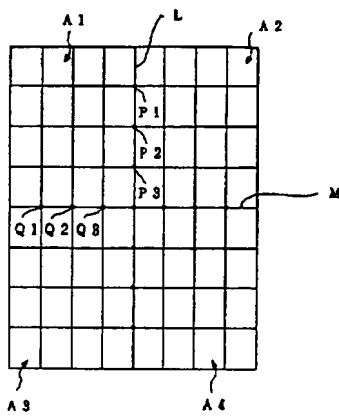
【図 2】



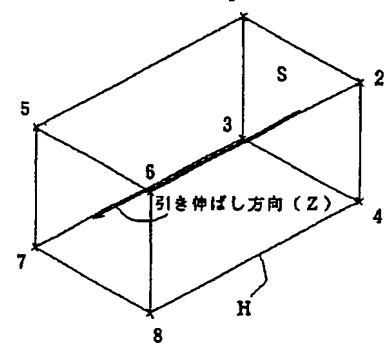
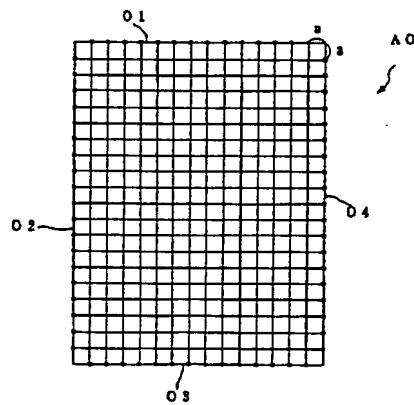
【図 5】



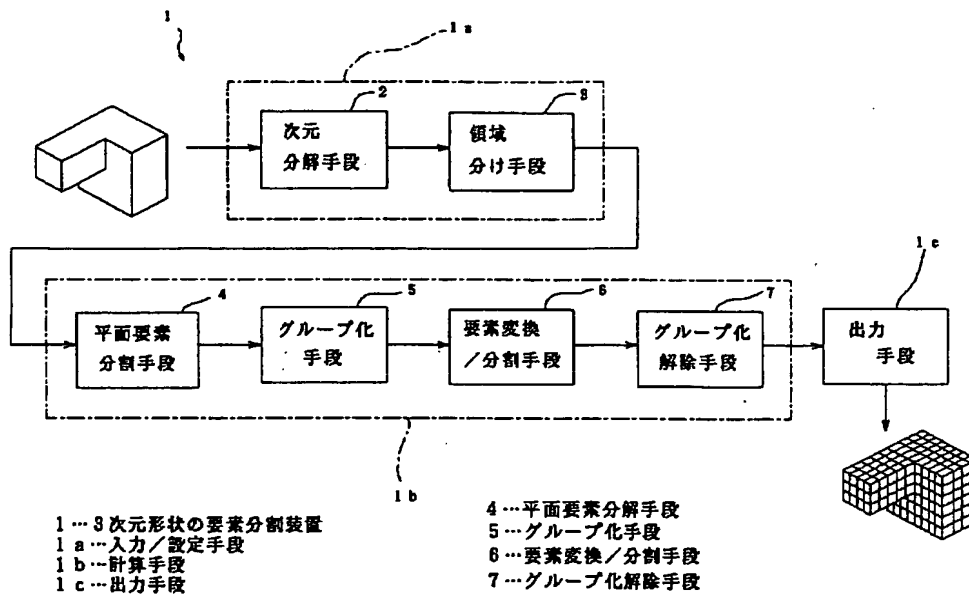
【図 3】



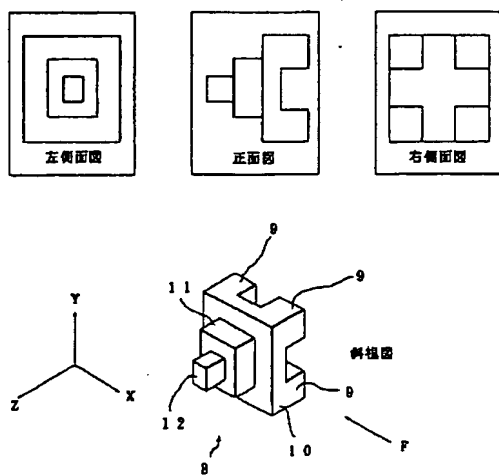
【図 4】



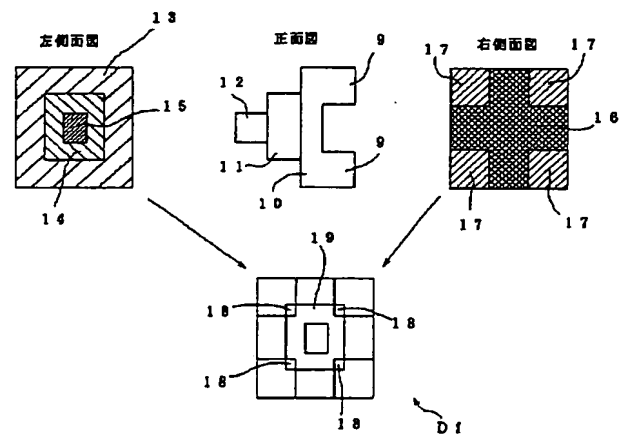
【図6】



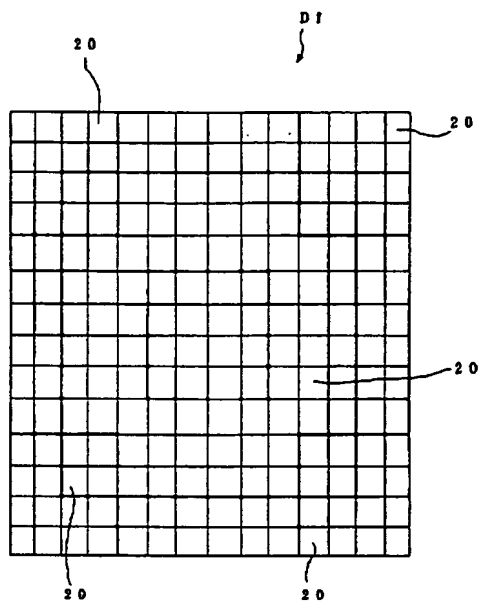
【図7】



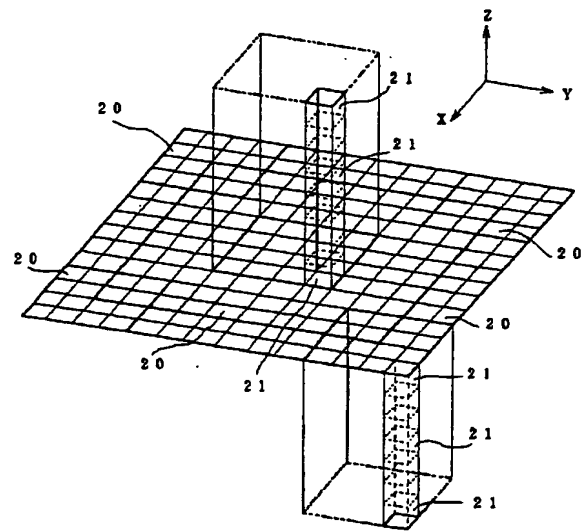
【図8】



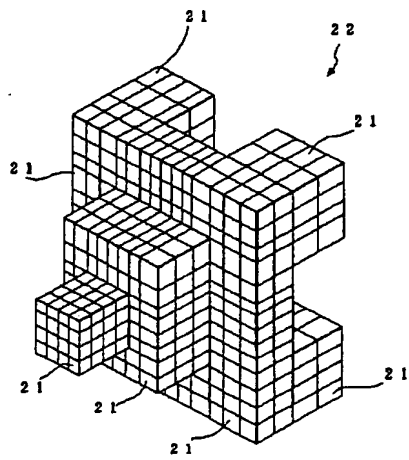
【図9】



【図10】



【図11】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**